

# 1

## **Ecosistemas Aquáticos e seu Manejo**

*Júlio Ferraz de Queiroz; Mariana Silveira Guerra Moura e Silva  
e Susana Trivinho-Strixino*

### **1. Escassez da água e degradação dos sistemas**

A escassez de água doce, associada à sua má distribuição espaço-temporal no mundo, fará com que a água se torne a “commodity” da virada do século. A falta de água pode ser resultante de uma série de fatores, incluindo fontes limitadas, grandes demandas, desperdício e uso inadequado. Esses fatores são agravados pela combinação do rápido crescimento populacional com a industrialização e a urbanização, os quais impõem uma crescente pressão sobre os ecossistemas aquáticos de vários países em desenvolvimento, como o Brasil (THORNE & WILLIAMS, 1997). A escassez de água tenderá a limitar o crescimento da agricultura e da indústria, e poderá colocar em risco a saúde, a nutrição e segurança alimentar, e também o desenvolvimento econômico. De acordo com especialistas, para prevenir a escassez de água, as nações devem, a curto e médio prazo, exercer um gerenciamento mais eficiente deste recurso, de modo a introduzir a reciclagem, prevenir a poluição e promover a conservação da água.

Alguns dos principais impactos antropogênicos que alteram o funcionamento dos ecossistemas aquáticos de forma mais freqüente são: as fontes de poluição industrial, urbana, agropecuária e mineração; regulação de rios através da construção de represas e reservatórios; salinização; sedimentação a partir de desmatamentos e construção de estradas; retirada da mata ciliar; exploração intensa de recursos pesqueiros; introdução de espécies de plantas e animais exóticos; remoção e destruição de habitats.

### **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

O impacto resultante da crescente atividade antrópica sobre os ambientes naturais constitui uma das principais preocupações do homem na atualidade. A poluição dos ambientes aquáticos tem se tornado um problema freqüente, principalmente pelas suas conseqüências mais evidentes, tais como: a escassez de fontes limpas para abastecimento e a mortandade dos organismos. Os despejos domésticos e industriais constituem grandes problemas da civilização moderna, principalmente quando são despejados diretamente nos corpos d'água (rios e lagos), o que tem provocado vários distúrbios levando à contaminação da água.

A agricultura é a atividade que mais consome água no mundo. Estima-se que cerca de 70% da utilização mundial da água é destinada à irrigação, enquanto que 23% é utilizada na indústria e 7% destina-se ao uso residencial (UNESCO, 2003). O principal emprego da água é na irrigação dos cultivos intensivos de grãos, frutas e hortaliças e para a dessedentação de animais, representando um elemento fundamental na produção de alimentos. Diante desse quadro, o comprometimento da qualidade das águas ameaça não apenas o abastecimento de água potável e de qualidade para as populações humanas, como também, a produção de alimentos seguros, representando um dos maiores desafios para as políticas de saúde pública.

A agricultura é responsável por grande parte da contaminação não-pontual, pois, uma vez que constitui uma atividade de grande amplitude espacial, produz uma grande variabilidade de poluentes. Estes poluentes possuem uma dinâmica de utilização intermitente, sendo praticamente impossível realizar o seu monitoramento contínuo (WATZIN & MacINTOSH, 1999). A contaminação de recursos hídricos é uma preocupação constante das agências ambientais e de saúde pública, já que corresponde à principal fonte de riscos resultantes do uso de agrotóxicos na agricultura (PERES, 1999). Devido à natureza integrada das redes hidrográficas, e ao fluxo constante que caracteriza rios e córregos, a contaminação de corpos d'água pode ser sentida a vários quilômetros de distância das áreas-fonte, o que não afeta apenas as regiões de plantio, mas

## Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água

também a integridade de todos os ecossistemas ao longo do seu percurso (EGLER, 2002).

O peso econômico do uso da água na indústria e na agricultura é enorme. Nos EUA, na década de 80, a irrigação para o cultivo de alimentos destinados à criação de animais, respondia por cerca de 50% do consumo. Outros usos no cultivo, especialmente para a irrigação de alimentos para consumo humano, consumiam outros 35%, fazendo com que o uso da água na agricultura respondesse por mais de 80% do total nacional do uso da água (MYERS, 1984).

Além do problema da escassez da água, a sua contaminação por defensivos agrícolas, também é um sério problema, enfrentado tanto nos países desenvolvidos como nos países emergentes. Os principais contaminantes de origem agrícola são os resíduos de fertilizantes e agrotóxicos. As vias de contaminação podem ser tanto diretas, ocorrendo no momento da sua aplicação nos cultivos, e na lavagem de embalagens, como indiretas, através da erosão do solo e pelo transporte de sedimentos contaminados, carreamento de resíduos pelas chuvas e movimento de drenagem da bacia (COOPER, 1991). Além disso, o estado de preservação da vegetação marginal e a distância entre a área onde estão localizados os cultivos, até a calha do rio, são fatores fundamentais no processo de contaminação, ditando a velocidade de contaminação da água e a extensão do dano ambiental (EGLER, 2002). No Brasil, houve um crescimento de aproximadamente 40 vezes no gasto com defensivos agrícolas nos últimos 40 anos (PERES, 1999). O país ocupa hoje o posto de maior consumidor individual de agrotóxicos entre todos os países em desenvolvimento, sendo responsável por cerca de 35% desse mercado (WHO, 1990).

Além disso, estudos realizados há vários anos já demonstraram que o peso econômico das doenças resultantes da falta de fornecimento de água e instalações de saneamento, é muito grande, em especial, no Terceiro Mundo. Um estudo da UNICEF constatou que apenas 51% das pessoas que

viviam nos países em desenvolvimento tinham acesso à água potável (CHANDLER, 1985).

## **2. Classificação dos despejos de acordo com a fonte de poluição**

Os despejos podem ser classificados de acordo com três tipos principais: físicos, incluindo agentes corrosivos e outros materiais não corrosivos como, por exemplo, o silte; químicos inorgânicos, incluindo materiais tóxicos industriais, produtos agrícolas como inseticidas e herbicidas; e químicos orgânicos, incluindo esgotos, restos de refinarias e fertilizantes.

Nos ambientes lóticos, sob condições naturais, a matéria orgânica, como por exemplo, folhas e outros materiais de origem vegetal ou animal, penetram no sistema em função da erosão das margens dos rios, e também da queda da folhagem da mata ciliar. Além disso, a descarga de efluentes orgânicos, como esgotos domésticos e aqueles resultantes do processamento de alimentos e de outros materiais biológicos, também aumenta a quantidade de matéria orgânica (particulada grossa – CPOM e particulada fina - FPOM) naturalmente presente num rio.

Ao chegar no rio, a matéria orgânica introduzida é progressivamente decomposta pela atividade biológica. O crescimento das populações de microrganismos sapróbios e detritívoros aumenta em caso de eutrofização. O aumento da atividade da população microbiana sapróbia eleva a demanda de oxigênio e pode resultar no consumo excessivo de oxigênio dissolvido podendo gerar uma condição de anoxia, o que afeta diretamente outros organismos, em decorrência das suas respectivas tolerâncias à depleção de oxigênio dissolvido. Conseqüentemente, o enriquecimento orgânico tem um efeito diferencial sobre a comunidade de um determinado rio, e resulta numa

### **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

sucessão de comunidades que irão se estabelecer a distâncias abaixo do ponto de descarga, e que irão variar de acordo com o grau de oxidação e mineralização da matéria orgânica contida na água. A matéria orgânica ou os produtos de sua degradação podem ser tóxicos, e se uma grande quantidade de partículas sólidas estiver presente nos efluentes, esse material pode se acumular no leito do rio, alterando suas características.

Os compostos orgânicos sintéticos também são uma importante fonte de poluição nos ecossistemas aquáticos. Estes compostos representam a maior diversidade e quantidade de poluentes e englobam os pesticidas; os PCB's – "polychlorinated biphenyls" ou bifenilas policloradas – cuja forma comercial mais comum é óleo ascarel; as dioxinas e furanos, que são extremamente tóxicos para seres humanos e espécies selvagens; os PAH's – "polycyclic aromatic hydrocarbons" ou hidrocarbonetos aromáticos policíclicos – são os principais componentes do creosoto; e os hidrocarbonetos orgânicos voláteis (tetracloroeto de carbono, tricloroetano, dicloroetileno) que são usados como solventes e compostos intermediários da indústria química, sendo freqüentemente encontrados na água potável (HESPANHOL, 1999).

A erosão do solo e o assoreamento da calha principal dos rios são exemplos de perturbações físicas bastante comuns em áreas desmatadas. Estes dois processos conjugados acarretam mudanças na morfologia dos rios, e comprometem a qualidade física, química e biológica da água devido à entrada de sedimentos contaminados (por exemplo, no caso da contaminação por defensivos agrícolas). As alterações na morfologia dos rios merecem especial destaque, pois afetam diretamente a disposição dos habitats aquáticos utilizados pelas comunidades bentônicas. O acúmulo progressivo de sedimentos no leito dos rios promove, ao longo do tempo, uma uniformização do fundo pelo preenchimento das reentrâncias e também pela perda de diferenciação entre áreas de remanso e de correnteza (EGLER, 2002).

### **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

Os efeitos dos agentes físicos são diversos. O silte por exemplo, pode ser abrasivo e danificar as brânquias dos organismos aquáticos, interferindo na respiração; pode também encobrir diversos habitats naturais. O excessivo despejo de silte nos rios é em grande parte decorrente de práticas agrícolas que não utilizam métodos para a conservação do solo. A falta de cuidados para a preservação do solo provoca erosão, e tem como consequência a eliminação de muitos grupos aquáticos, e entre eles insetos particularmente mais sensíveis, como Plecoptera e Ephemeroptera (EGLER, 2002).

Os corpos de água são suscetíveis à contaminação por agentes químicos através do escoamento superficial, processos de descarga, deposição atmosférica e percolação através do solo. O tempo de permanência dos poluentes nos ecossistemas aquáticos dependerá do potencial de mobilidade, tipo de aplicação e persistência no solo e água. Geralmente os despejos químicos afetam os organismos aquáticos por sua ação tóxica direta, ou por efeitos secundários causados pela mudança de pH e da pressão osmótica (IRFANULLAH & MOSS, 2005; WILLIAMS & WILLIAMS, 1998).

A tolerância a produtos químicos, exceto inseticidas, não tem sido muito estudada, pelo menos para grupos de insetos aquáticos. Sabe-se, porém, que a cloração da água nas concentrações usadas para purificação, por exemplo, pode produzir resíduos tóxicos para peixes e insetos. Os detergentes adicionados às águas dos rios reduzem a tensão superficial e prejudicam a locomoção dos insetos de superfície, tornando a sua respiração mais difícil toda vez que eles buscam a superfície da água para tomada de ar. A presença de óleos da mesma forma prejudica a respiração desses insetos ao formar uma película sobre a superfície da água e pode reduzir bastante a densidade e a riqueza de espécies (LYTLE & PECKARSKY, 2001).

Os organismos aquáticos podem incorporar vários tipos de contaminantes tais como: inseticidas, fungicidas, herbicidas, bifenilas policloradas (PCBs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), dioxinas

### **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

e metais pesados, e isso pode ocorrer através da água e do sedimento, ou ainda através da cadeia alimentar, por meio de um processo denominado biomagnificação que implica no acúmulo crescente de substâncias tóxicas dos níveis mais baixos para os mais elevados da cadeia trófica podendo até atingir o ser humano. Neste processo, ocorre um aumento da concentração corporal de substâncias químicas, à medida que se eleva a posição ocupada pelo organismo na cadeia trófica. Isto ocorre, porque, ao se alimentar de um animal ou planta contaminado, o consumidor acaba incorporando as substâncias que estavam presentes nele, determinando um aumento progressivo da concentração de poluentes na sentida do topo da cadeia alimentar .

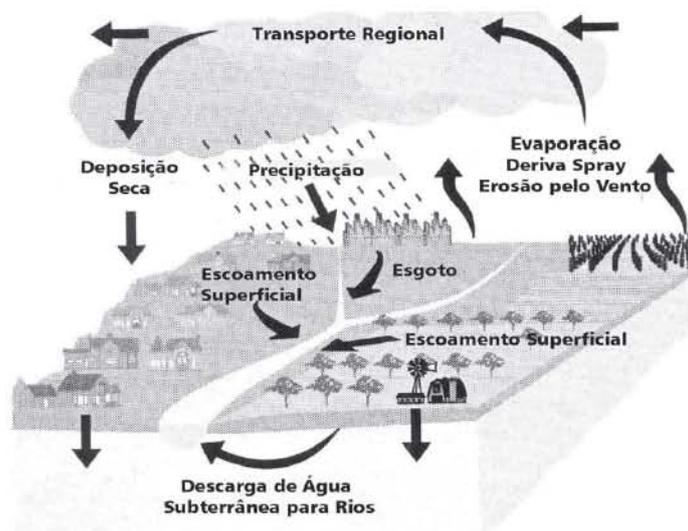
Os fertilizantes orgânicos e inorgânicos têm como principal efeito de contaminação, o aumento da concentração de compostos nitrogenados e fosfatados nos ecossistemas aquáticos, levando a um aumento imediato da produtividade primária e da biomassa de algas e hidrófitas. Dependendo do tipo de ambiente e da quantidade de nutrientes despejados, é possível observar efeitos como eutrofização dos rios e lagos, desoxigenação da água, obstrução de canais, produção de toxinas pelas algas verdes-azuis e modificações nas características físico-químicas dos habitats aquáticos.

### **3. Formas de disponibilização dos poluentes e substâncias tóxicas**

O termo bioacumulação é utilizado para descrever a assimilação de agentes químicos presentes em um determinado ambiente através de qualquer via (dérmica, respiratória ou digestiva), e também a partir de qualquer tipo de fonte do compartimento aquático na qual o agente esteja presente, seja na forma dissolvida, associado ao material sedimentar ou a outros organismos. A bioconcentração é um termo mais específico que se refere ao processo de acumulação somente a partir da água (AMYOT et al., 1996).

### Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água

No caso de pesticidas, algumas características intrínsecas são importantes para determinar a biodisponibilidade destes tóxicos e seu potencial de contaminação. Os pesticidas de maior lipofilidade, por exemplo, apesar de serem facilmente bioacumulados, são pouco solúveis em água e uma vez lançados nos ecossistemas aquáticos tendem a ser adsorvidos ao sedimento. Os pesticidas mais lipofílicos também apresentam uma menor tendência de se moverem através do solo em direção às águas subterrâneas, pois, uma vez lançados no solo, se ligam às partículas de matéria orgânica presentes no sedimento e dificilmente são remobilizados (LARSON et al., 2002). Devido à propensão dos pesticidas orgânicos hidrofóbicos a se associarem com a matéria orgânica natural, eles tendem a se acumular no sedimento com uma quantidade de matéria orgânica relativamente alta (mais de 1%). Essas áreas de deposição no sedimento podem servir como reservatórios de longo ou curto prazo para pesticidas, até que o sedimento seja perturbado pela hidrodinâmica do sistema (LARSON et al., 2002). Por outro lado, é o transporte destas partículas, através da ação da chuva e do vento, que leva à contaminação de corpos d'água e a dispersão de pesticidas até áreas remotas (Fig. 1).



**Fig. 1.** Potenciais vias para o movimento de pesticidas dentro e através de componentes do ciclo hidrológico. Fonte: Majewski e Capel (1995).

## **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

Alguns pesticidas de menor persistência, mas que têm alta solubilidade, são atualmente os principais responsáveis pela contaminação de lençóis freáticos. Eles são facilmente carregados pela água da chuva e pela irrigação, e quando conseguem percolar em direção às águas subterrâneas, ficam menos expostos aos agentes responsáveis pela sua degradação, como a luz, o calor e os microorganismos, o que aumenta as chances de chegarem intactos até os mananciais subterrâneos (EGLER, 2002).

## **4. Usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos**

Os ecossistemas aquáticos compreendem as plantas, os animais, e também o ambiente físico, químico e físico-químico nos quais eles interagem. Uma característica peculiar dos ecossistemas aquáticos lóticos (rios) é a sua dinamicidade, identificada por uma grande variabilidade e complexidade de parâmetros abióticos e bióticos. No âmbito da bacia hidrográfica, que pode ser definida como a área drenada parcial ou totalmente por um ou vários cursos d'água, em geral existe uma dinâmica de importação e exportação de nutrientes, energia e água de maneira constante, de modo que todo o material que entrar no trecho superior dos rios (cabeceiras) irá afetar a qualidade da água no seu trecho inferior (potamal) (MEADE & TRIMBLE, 1974).

A diversidade de ambientes aquáticos existentes em um país de dimensões continentais como o Brasil, implica em um número significativo de usos, incluindo o suprimento de água potável, a irrigação e a recreação, e também a própria proteção ambiental. Nesse sentido, é fundamental considerar que essa diversidade de usos deve ser avaliada para determinar como esses ecossistemas deverão ser protegidos. Os critérios de qualidade de água e os valores de referência que serão estabelecidos para um determinado ecossistema aquático irão fornecer os meios para a realização efetiva de tais avaliações e medidas.

### Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água

A identificação das necessidades e aspirações da comunidade em relação à água, é um passo fundamental na definição do valor ambiental de um determinado reservatório, açude, lago etc. Dessa forma, a estratégia de proteger especificamente usos ambientais reconhecidos é amplamente utilizada, e também pode servir para rotular esses usos, como "*usos benéficos*". A idéia é evitar que ocorram conflitos entre eles, como por exemplo, o uso da água para a irrigação, que pode impedir a sua disponibilidade para consumo humano e/ou propósitos industriais, urbanos, turísticos, recreacionais, ou vice versa.

O perfeito funcionamento de um ecossistema exige que algumas condições sejam respeitadas; dentre elas, destaca-se a integridade biológica. A partir desse conceito a integridade biológica já foi anteriormente definida como: "A habilidade de suportar e manter o equilíbrio, a integração e a adaptação da comunidade de organismos, assegurando a composição das espécies, a diversidade e a organização funcional compatível ao habitat natural da região" (KARR & DUDLEY, 1981).

A integridade biológica dos ecossistemas aquáticos é diretamente afetada pelo manejo da qualidade da água e envolve os seguintes aspectos: a identificação dos valores ambientais que devem ser protegidos, o estabelecimento de indicadores físico-químicos e biológicos (utilizando a informação científica disponível relacionada, respectivamente, com os indicadores e com a valoração ambiental), o estabelecimento de estratégias para o uso e o manejo dos recursos hídricos (políticas sobre águas afetadas por poluentes, efluentes, captação, uso etc.), e o desenvolvimento de um programa de monitoramento para assegurar a manutenção da qualidade da água e do meio ambiente.

Nesse sentido, durante as últimas décadas, a capacidade assimilativa tem sido usada como uma ferramenta muito eficaz para avaliar a degradação ambiental. A sustentação básica dessa idéia é que os ecossistemas aquáticos têm a capacidade de absorver e modificar resíduos sem alterar a

### **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

qualidade de si próprio. Entretanto, dependendo da carga poluente e de sua natureza, a capacidade assimilativa e a auto-depuração podem não ser suficientes para a recuperação do próprio ecossistema sem um manejo adequado.

Por outro lado, não deve ser ignorado que a integridade biológica dos ecossistemas aquáticos também irá influir na identificação das necessidades e aspirações da comunidade, como por exemplo: água para o consumo humano, agricultura, pesca comercial e/ou esportiva, aquicultura, agropecuária, lazer, proteção do ecossistema etc. Esses aspectos constituem um passo fundamental na definição do valor ambiental de um determinado rio, reservatório, açude, lago, etc. Além disso, existem custos associados com o manejo dos corpos hídricos para alcançar os níveis de qualidade de água desejados pela comunidade, o que influencia diretamente a relação custo-benefício. Esta relação varia de acordo com os diferentes setores e interesses da comunidade, implicando que os custos para um setor muitas vezes significam lucros para outro.

Diante disso, vários especialistas em manejo de recursos hídricos concordam que o comprometimento das reservas estratégicas aquáticas está associado, em geral, ao desmatamento causado pela agricultura, à drenagem de terras alagadas, ao desenvolvimento e ocupação humana, à fontes poluentes de origem industrial e doméstica, ao represamento e canalização, às atividades recreativas, à operação de mineração, a projetos de irrigação e à introdução de espécies exóticas, dentre outras atividades (BAPTISTA et al., 2001).

Além disso, a integridade dos ecossistemas aquáticos também é severamente afetada pelos tóxicos que contaminam os corpos hídricos, os quais, podem determinar níveis de tolerância diferentes para algumas espécies, ou para todo ecossistema quando estão presentes em certas concentrações. Nesses casos, os critérios para avaliar a qualidade da água de ecossistemas poluídos por agrotóxicos e outros, devem se basear em estudos ecotoxicológicos e principalmente no uso de indicadores biológicos.

### Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água

O uso de indicadores biológicos requer um entendimento detalhado sobre as características e as relações existentes entre os diversos componentes dos sistemas biológicos, os quais apresentam diferenças marcantes de sensibilidade entre si, e também com relação às diferenças relacionadas com a tolerância das comunidades biológicas a poluentes específicos e outros estressores. O somatório desses fatores torna essencial que o manejo ambiental dos ecossistemas aquáticos seja feito em uma base ecossistema x ecossistema, isto é, através da avaliação das comunidades biológicas que compõem ecossistemas similares poluídos e não poluídos em uma mesma bacia hidrográfica.

Conseqüentemente, a implantação e a continuidade de programas para o monitoramento das águas continentais, são cada vez mais importantes, não só para preservar e manter a qualidade da água, com vistas ao abastecimento da população, mas também para manter a integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos. Para que os programas de monitoramento sejam efetivos, eles devem contar com resoluções que estabeleçam os níveis máximos das concentrações de determinadas substâncias contidas nos efluentes de origem urbana, industrial e agropecuária, e também quais são os limites permissíveis dessas substâncias nos corpos aquáticos.

Dessa forma, nos últimos anos ocorreu uma mudança no paradigma previamente estabelecido para a avaliação da qualidade da água, indicando que o monitoramento clássico dos aspectos físicos e químicos, associado aos testes biológicos *ex-situ*, são insuficientes para caracterizar as respostas do ecossistema à poluição. Portanto, a partir desses conceitos ficou evidente que se o ecossistema é o objeto em referência, suas respostas devem ser analisadas de uma maneira holística, ou pelo menos, se referir a organismos indicadores *in situ* (MOULTON, 1998).

No Brasil, o biomonitoramento começa a se consolidar como uma ferramenta útil e barata na avaliação da qualidade das águas continentais.

### **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

Alguns estudos foram desenvolvidos em Minas Gerais (JUNQUEIRA & CAMPOS, 1998), Rio de Janeiro (BUSS, 2001; SILVEIRA, 2001; EGLER, 2002). Entretanto, a falta de conhecimento taxonômico sobre a fauna nativa, principalmente com relação aos macroinvertebrados bentônicos, dificulta o desenvolvimento de pesquisas sobre avaliação de impacto ambiental devido à inexistência de registros históricos e, conseqüentemente, em decorrência da dificuldade de efetuar comparações referentes a integridade das comunidades biológicas, entre locais impactados e não impactados.

Por outro lado, nos Estados Unidos os órgãos ambientais governamentais já desenvolveram e validaram Protocolos de Avaliação Rápida (RAPID ASSESSMENT PROTOCOLS – RAP), para agilizar e otimizar as avaliações de qualidade de água para dar suporte aos planos de manejo e tomada de decisões. Estes protocolos reúnem algumas medidas ou parâmetros das comunidades bioindicadoras, e utilizam um índice de qualidade de água com um valor numérico único, e de fácil entendimento para o público leigo e gerenciadores ambientais em geral (PLAFKIN et al., 1989; KARR et al., 1986).

Destaca-se que a utilização de protocolos para a avaliação e manejo dos ecossistemas aquáticos deve levar em consideração a função do ecossistema em estudo, sendo que esta função pode ser determinada através da medida dos processos biológicos, como por exemplo: a respiração, a produção primária e o ciclo dos nutrientes, ou ainda, por meio de medidas da estrutura trófica como o fluxo de energia ou a biomassa de vários níveis tróficos. Diante disso, vários estudos têm defendido medidas da função dos ecossistemas como indicadores de seu estado de preservação (PLAFKIN et al., 1989). Os índices de integridade biológica e da comunidade tentam incorporar alguns indicadores da função da comunidade através da inclusão de medidas numéricas relativas de peixes de vários níveis tróficos, ou de invertebrados de grupos alimentares funcionais. Dessa forma, quatro fatores biológicos podem ser usados para determinar a condição de sanidade de um ecossistema, quais sejam: abundância das espécies, composição das espécies, produtividade primária e função do

### Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água

ecossistema (estimada da taxa produção: respiração).

A Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do Código Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005) estabelece classes de qualidade de água com base nos usos preponderantes de acordo com os diversos dos corpos hídricos, e determina quais são os limites máximos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos presentes na água, de acordo com o seu uso (balneabilidade, potabilidade, irrigação, etc). A partir da resolução nº 20 do CONAMA (BRASIL, 1986), foi aprovada a Lei 9.433/97 que trata da Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e que tem como um de seus princípios o uso múltiplo da água na gestão de recursos hídricos. Esta lei foi pautada em seis princípios básicos que vieram configurar um novo entendimento sobre o recurso “água”. Dentre estes princípios, destacamos os seguintes: a água passa a ser reconhecida como um bem de domínio público, escasso e dotado de valor econômico, e a bacia hidrográfica é eleita como unidade de planejamento.

A busca por respostas para muitas das questões surgidas dessas discussões motivou a criação de vários programas em nível nacional, entre eles, o Proágua (SRH-MMA). Como parte do referido programa, foi aprovado o projeto ECO-ÁGUA (CNPMA-EMBRAPA), que se propôs ao monitoramento “*on line*” da qualidade das águas para subsidiar o gerenciamento dos recursos hídricos da região semi-árida brasileira dentro do paradigma da sustentabilidade.

O objetivo deste livro é apresentar de forma clara e resumida a metodologia e as vantagens da utilização de indicadores biológicos de qualidade de água, com base no uso de macroinvertebrados bentônicos, a partir dos resultados obtidos de dois estudos de caso no Rio Macaé, RJ, e no Rio São Francisco, PE.

## Referências

AMYOT, M.; PINEL-ALLOUL, B.; CAMPBELLS, P.; DESY, J. Total metal burdens in the freshwater amphipod *Gammarus fasciatus*: contribution of various body parts and influence of gut contents. **Freshwater Biology**, v. 35, n. 2, p. 363-373, 1996.

BAPTISTA, D. F.; DORVILLÉ, L. F. M.; BUSS, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, n. 2, p. 295-304, 2001.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a proteção e a melhoria da qualidade ambiental. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jun. 1986.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 mar. 2005.

BUSS, D.F. **Utilizando macroinvertebrados bentônicos no desenvolvimento de um programa integrado de avaliação da qualidade da água de rios**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - UFRJ, Rio de Janeiro.

CHANDLER, W. U. **Investing in children**. Washington, 1985. (World Watch Paper, 64).

COOPER, K. Effects of pesticides on wildlife. In: HAYES, W. J.; LAWS, E. R. (Ed.). **Handbook of pesticide toxicology – General principles**. New York: Academic Press, 1991. p. 463-496.

Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água

EGLER, M. **Utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação da degradação de ecossistemas de rios em áreas agrícolas.** 2002. 147 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP) da Fundação Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Rio de Janeiro.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico – uma visão realista. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI J. G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 249-303.

IRFANULLAH, H.M.D.; MOSS, B. Effects of pH and predation by *Chaoborus* larvae on the plankton of a shallow and acidic forest lake. **Freshwater Biology**, v.50, p.1913-1926, 2005.

JUNQUEIRA, V.M.; CAMPOS, S.C.M. Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 10, n. 2, p. 125-135, 1998.

KARR, J.R.; DUDLEY, D.R. Ecological perspective on water quality goals. **Environmental Management**, v. 5, n. 1, p. 55-68, 1981.

KARR, J.R.; FAUSCH, K.D.; GERMEIER, P.L.; YANT, P.R.; SCHLOSSER, I. J. **Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale.** Champaign: Illinois Natural History Survey, 1986. (Special Publication, 5).

LARSON, S.J.; CAPEL, P.D.; MAJEWSKI, M.S. **Pesticides in surface waters – distribution, trends, and governing factors.** Chelsea: Ann Arbor Press, 2002. 373p.

LYTLE, D.A.; PECKARSKY, B.L. Spatial and temporal impacts of a diesel fuel spill on stream invertebrates. **Freshwater Biology**, v. 46, n. 5, p. 693-704, 2001.

MAJEWSKI, M.S.; CAPEL, P.D. **Pesticides in the atmosphere: Distribution, trends, and governing factors.** Chelsea: Ann Arbor Press, 1995. 214p. (Pesticides in the Hydrologic System Series, v. 1).

**Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água**

MEADE, R. W.; TRIMBLE, S. W. **Changes in sediment loads in rivers of the Atlantic drainage of the United States since 1900**. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences Publications, 1974. p. 99-104.

MOULTON, T.P. Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos. In: NESSIMIAN, J.L.; CARVALHO, A. do L. (Ed.). **Oecologia brasiliensis – Ecologia de insetos aquáticos**, v. 5, p. 281-298, 1998.

MYERS, N. Elements. In: **GAIA: an atlas of planet management**. Garden City: Anchor Books, 1984. 418 p.

PERES, F. **É veneno ou é remédio? Os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP) da Fundação Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Rio de Janeiro.

PLAFKIN, J.L.; BARBOUR, M.T.; PORTER, K.D.; GROSS, S.K.; HUGHES, R.M. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers. Benthic macroinvertebrates and fish**. Washington: Office of Water Regulations and Standards; U. S. Environmental Protection Agency, 1989. 287 p. (EPA/444/4-89/001).

SILVEIRA, M.P. **Estudo das comunidades de macroinvertebrados aquáticos e sua utilização na avaliação da qualidade da água na bacia do rio Macaé, Estado do Rio de Janeiro**. 151 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - UFRJ, Rio de Janeiro.

THORNE, R. ST. J.; WILLIAMS, W.P. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 671-686, 1997.

UNESCO. The United Nations World Water Development Report, 2003. Acesso em: 16 nov. 2004. Disponível em: <<http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/index.shtml>>.

*Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Água*

WATZIN, M.; MACINTOSH, A. W. Aquatic ecosystems in agricultural landscapes: A review of ecological indicators and achievable ecological outcomes. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 4, p. 636-644, 1999.

WHO – World Health organization. **Public health impacts of pesticides used in agriculture**. Geneva, 1990.

WILLIAMS, D. D.; WILLIAMS, N. E. Aquatic insects in an estuarine environment: densities, distribution and salinity tolerance. **Freshwater Biology**, v. 39, n. 3, p. 411-421, 1998.